饲粮叶酸添加水平对山麻鸭产蛋性能、蛋品质、生殖器官及血浆生殖激素指标的影响

夏伟光[1]　王胜林[1]　陈　伟[1]　阮　栋[1]　王　爽[1]　A. M. Fouad[1,2]　林映才[1*]　郑春田[1*]

（1.广东省农业科学院动物科学研究所，畜禽育种国家重点实验室，农业部华南动物营养与饲料重点实验室，广东省动物育种与营养公共实验室，广东省畜禽育种与营养研究重点实验室，广州 510640，中国；2.开罗大学农学院，动物生产系，吉萨 12613，埃及）

摘　要：本试验旨在研究饲粮叶酸添加水平对山麻鸭产蛋性能、蛋品质、生殖器官及血浆生殖激素指标的影响，以确定产蛋期（18~32 周龄）山麻鸭 FA 的需要量。试验选用 16 周龄的山麻鸭 360 只，随机分成 6 个组，每个组 5 个重复，每个重复 12 只，单笼饲养。试验蛋鸭饲喂不添加 FA 的基础饲粮 2 周后，分别饲喂在基础饲粮中添加 0、0.5、1.0、2.0、4.0、8.0 mg/kg FA 的试验饲粮，试验期 15 周。结果表明：1）饲粮 FA 添加水平对产蛋初期、产蛋高峰期和试验全期的蛋鸭产蛋性能指标无显著影响（$P>0.05$）。2）随着饲粮 FA 添加水平的提高，蛋壳相对重和蛋壳厚度先升高后下降，1.0 mg/kg FA 添加组的蛋壳相对重显著高于其他组（$P<0.05$）。3）随着饲粮 FA 添加水平的提高，优势卵泡重、优势卵泡重/卵巢重先升高后降低，饲粮 FA 添加水平对优势卵泡重和优势卵泡重/卵巢重有显著影响（$P<0.05$），以 4.0mg/kg 叶酸添加组最高。4）随着饲粮 FA 添加水平的提高，血浆孕酮浓度先升高后下降，其中 2.0 mg/kg FA 添加组血浆孕酮浓度最高；8.0 mg/kg FA 添加组血浆促黄体生成素浓度显著高于其他各组（$P<0.05$）。由此可见，在玉米-豆粕型饲粮中添加 FA 在一定程度上有利于促进优势卵泡的发育，但未能显著影响山麻鸭的产蛋性能。仅考虑产蛋性能，玉米-豆粕型饲粮中不需添加叶酸；以蛋壳相对重和蛋壳厚度为评价指标，建议玉米-豆粕型饲粮叶酸适

收稿日期：2016-01-11

基金项目：国家水禽产业技术体系（CARS-43-13）；广东省科技计划项目（2011A020102009）；广东省自然科学基金博士启动项目（2014A030310054）；广东省农业科学院院长基金项目（201521）

作者简介：夏伟光（1985-），男，广东清远人，博士，从事水禽营养与饲料资源利用技术的研究。E-mail: harry_xch@sina.com

*通信作者：林映才，研究员，E-mail： lyc0123@viptom.com；郑春田，研究员，硕士生导师，E-mail: zhengcht@163.com

宜添加水平为 1.0 mg/kg。

关键词：叶酸；山麻鸭；产蛋性能；蛋品质；生殖器官

中图分类号：S834　　　　文献标识码：

叶酸（folic acid, FA）又名蝶酰谷氨酸，是动物生长过程中较为重要的一种水溶性维生素。FA 以还原态的二氢叶酸和四氢叶酸的形式广泛存在于自然界中，而在动物肝脏和肾脏中表现出多种结构形式，包括 5-甲基四氢叶酸、10-甲酰四氢叶酸、5-甲酰四氢叶酸、5,10-次甲酰基四氢叶酸、5,10-亚甲基四氢叶酸及亚胺甲基四氢叶酸。四氢叶酸的 N_5 或 N_{10}，或者 N_5 与 N_{10} 一起可连接一碳基团，进而在动物机体新陈代谢过程中发挥其携带或提供一碳基团的生理作用，如合成嘌呤、脱氧胸苷酸和蛋氨酸，参与 DNA 的甲基化等。在饲养标准中 FA 的推荐使用量是动物在临床上不出现缺乏症的最低需要量，但是在生产中往往追求最大的动物生产成绩，因此使动物获得最佳生产成绩的 FA 适宜添加量一直是人们关注的焦点。葛文霞[1]在玉米-豆粕型饲粮中分别添加 0、0.75、1.50、3.00 mg/kg FA，结果表明随着 FA 添加水平的提高，21 日龄肉仔鸡血清免疫球蛋白 G（IgG）含量也逐步提高，但 0.75、1.50、3.00 mg/kg 组间差异不显著。Abas 等[2]的研究发现，在玉米-豆粕型饲粮中连续 8 周分别添加 0、5、10 mg/kg FA 能显著提高产蛋早期母鸡的蛋重，但 5 和 10 mg/kg 组未发现显著差异。Bunchasak 等[3]的研究报道，在玉米-豆粕型饲粮中连续 8 周（64~72 周龄）分别添加 0、0.5、4.0、10.0 mg/kg FA 对蛋鸡日产蛋重、产蛋率、蛋重及采食量均没有显著影响，但可不同程度地提高其血清和蛋的 FA 含量，其中 4.0 和 10.0 mg/kg 添加水平对血清 FA 含量的提高达显著水平，当 FA 添加水平大于或等于 4.0 mg/kg 时，血清和蛋中的 FA 含量差异不显著。孟苓凤等[4]根据鹅的生长性能回归分析获得鹅饲粮中育雏期 FA 添加水平为 2.45 mg/kg，育成期添加水平为 2.08 mg/kg。到目前为止，添加 FA 对家禽生产性能的研究在肉鸡、蛋鸡、鹅上已有相关报道，在蛋鸭方面尚未见报道。因此，本试验旨在通过研究玉米-豆粕型饲粮不

同 FA 添加水平对产蛋期山麻鸭产蛋性能、蛋品质、生殖器官发育及血浆生殖激素指标的影响，并探讨产蛋期山麻鸭饲粮 FA 适宜的需要量，为生产实践中合理使用 FA 提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物与饲养管理

选择健康、采食正常、起始体重无显著差异（$P>0.05$）的16周龄山麻鸭360只，随机分成6个组，每个组5个重复，每个重复12只试验鸭。试验蛋鸭全程采用2层不锈钢镀锌笼子（27.8 cm×40 cm×55 cm）进行单笼饲养，所有试验蛋鸭饲喂不添加FA的基础饲粮2周，随后按照分组分别饲喂在基础饲粮中添加0、0.5、1.0、2.0、4.0、8.0 mg/kg FA的试验饲粮，试验期15周。在育雏期和育成期按常规免疫程序免疫接种鸭病毒性肝炎弱毒苗、传染性浆膜炎和禽流感疫苗。试验期间自由采食饮水，每日光照16 h（强度不少于15 lx/m^2），准确记录每天06：00、12：00和18：00的温度、湿度和天气情况。

1.2 试验设计与饲粮组成

采用单因子随机试验设计，试验饲粮采用玉米-豆粕型基础饲粮，其营养水平参照本课题组前期的研究结果确定[5-10]，基础饲粮组成及营养水平见表 1，其 FA 含量理论计算值为 0.04 mg/kg。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels[2)]	含量 Content
玉米 Corn	40.03	代谢能 AME/(MJ/kg)	10.45
豆粕 Soybean meal	22.23	粗蛋白质 CP	17.00
小麦麸 Wheat bran	14.11	钙 Ca	3.60
次粉 Wheat middling	12.0	总磷 TP	0.64
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.22	有效磷 AP	0.35
石粉 Limestone	8.95	赖氨酸 Lys	0.85

食盐 NaCl	0.30	蛋氨酸 Met	0.40
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.15	蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	0.69
预混料 Premix[1)]	1.00	叶酸 FA/(mg/kg)	0.04
合计 Total	100.00		

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provides the following per kg of diets: VA 8 000 IU，VD_3 2 400 IU，VE 20 mg，VK_3 2.5 mg，VB_1 2 mg，VB_2 6 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.02 mg，胆碱 choline 500 mg，烟酸 niacin 15 mg，*D*-泛酸钙 *D*-calcium pantothenate 20 mg，生物素 biotin 0.2 mg，Cu 8 mg，Fe 50 mg，Mn 100 mg，Zn 90 mg，I 0.4 mg，Se 0.36 mg，Co 0.26 mg。

[2)]粗蛋白质含量为实测值，其余为计算值。CP is a measured value, while the others are calculated values.

1.3 指标检测与方法

1.3.1 产蛋性能

试验前期，根据前1 d采食情况调整饲粮添加量，每天每重复的投料量保持一致，在饲粮全部吃完的条件下尽量多喂，准确记录给料量和剩料量。当产蛋率达50%后，按145 g/(只/d)饲喂。以重复为单位，准确记录试验鸭产蛋数量、每日蛋重，统计产蛋期平均产蛋率、平均蛋重、日产蛋重和料蛋比。

1.3.2 蛋组成和蛋品质

试验期间，每隔4周从各组每重复中采集3枚蛋，各批次蛋样在产蛋后48 h内分别完成其蛋壳重、蛋黄重、蛋清重以及蛋形指数、蛋壳厚度、蛋壳强度、蛋黄色泽和哈夫单位的测定。最后取各批次的蛋品质指标平均值进行统计分析。其中，蛋形指数采用游标卡尺（沪制01120028）量出其纵径和横径后计算其比值表示（蛋形指数=纵径/横径）；蛋壳厚度采用数显千分尺（MODEL-1061）测定其蛋壳钝端、中部和锐端蛋壳厚度，取其平均值表示；蛋壳强度、蛋黄颜色和哈夫单位分别采用ORKA蛋壳强度仪（EFR-01，以色列）和全自动蛋品分析仪（EMT-5200，以色列）进行测定。

1.3.3 生殖器官

试验第 16 周，从每重复中随机选取 2 只试验鸭屠宰，取出卵巢后称重，计算卵巢指数（卵巢重量/试验鸭体重），观察卵泡发育和卵巢形态，记录优势卵泡（成熟卵泡，充满卵黄，直径大于 8 mm）数量和重量，直径为 3~8 mm 小黄卵泡数量，分别计算优势卵泡、小黄卵泡与卵巢重量的比值。测量输卵管长度和重量，计算输卵管长度指数（输卵管长度/试验鸭重量）和重量指数（输卵管重量/试验体重）。

1.3.4 血浆生殖激素

在屠宰前 1 d 下午 18:00 用抗凝真空采血管从试验鸭翅静脉采血 5 mL，3 000 r/min 离心 15 min，制备血浆，分装于 Ep 管中，于-80 ℃冻存，采用放射免疫的方法测其促黄体生成素（luteinizing hormone, LH）和孕酮（progesterone，PG）浓度。

1.4 数据处理与统计分析

试验数据采用SAS 9.0软件的GLM程序进行单因素方差分析，方差分析有显著效应时再进行Student-Newman-Keuls均数多重比较分析，*P*<0.05为差异显著。

2 结 果

2.1 饲粮 FA 添加水平对蛋鸭产蛋性能的影响

由表 2 可知，饲粮 FA 添加水平对产蛋初期、产蛋高峰期和试验全期的蛋鸭产蛋率、平均蛋重、日产蛋重和料蛋比均无显著影响（*P*>0.05）。

表 2 饲粮 FA 添加水平对蛋鸭产蛋期产蛋性能的影响

Table 2 Effects of dietary FA supplemental level on laying performance of laying ducks during laying period

项目 Items	叶酸添加水平 FA supplemental level/(mg/kg)						SEM	*P* 值
	0	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0		*P*-value
产蛋初期（20~21 周龄，50%<产蛋率<80%）								
Early laying period (20 to 21 weeks of age, 50%<egg production<80%)								

平均日采食量 ADFI/(g/d)	145	145	145	145	145	145		
产蛋率 Egg production/%	71.1	65.5	68.8	69.3	70.6	65.6	2.76	0.58
平均蛋重 Average egg weight/g	52.1	52.4	52.5	52.7	52.2	52.7	0.32	0.67
日产蛋重 Egg mass/(g/d)	37.1	34.5	36.3	36.7	37.0	34.7	1.49	0.70
料蛋比 Feed/egg	3.93	4.27	4.02	4.00	3.95	4.22	0.17	0.60
产蛋高峰期（22~32 周龄，产蛋率>80%）								
Peak laying period (22 to 32 weeks of age, egg production>80%)								
平均日采食量 ADFI/(g/d)	145	145	145	145	145	145		
产蛋率 Egg production/(%)	84.6	83.2	83.3	89.2	87.7	82.0	2.62	0.35
平均蛋重 Average egg weight/g	59.6	59.2	60.3	60.5	59.2	59.8	0.51	0.37
日产蛋重 Egg mass/(g/d)	50.5	49.3	50.2	54.0	51.9	49.0	1.60	0.28
料蛋比 Feed/egg	2.88	2.97	2.89	2.69	2.80	3.00	0.10	0.29
试验全期（20~32 周龄）								
The whole experimental period (20 to 32 weeks of age)								
平均日采食量 ADFI/(g/d)	145	145	145	145	145	145		
产蛋率 Egg production/%	81.8	79.4	80.2	85.0	84.1	78.5	2.49	0.40
平均蛋重 Average egg weight/g	58.0	57.8	58.6	58.9	57.7	58.3	0.44	0.36
日产蛋重 Egg mass/(g/d)	47.6	46.1	47.2	50.4	48.7	46.0	1.47	0.32
料蛋比 Feed/egg	3.06	3.17	3.08	2.88	2.98	3.19	0.10	0.31

同行数据肩标相邻字母表示差异显著（P<0.05），相同字母或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with the adjacent letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 饲粮 FA 添加水平对鸭蛋组成和蛋品质的影响

由表 3 可知，随着饲粮 FA 添加水平的提高，蛋壳相对重和蛋壳厚度先升高后下降，1.0 mg/kg FA 添加组的蛋壳相对重显著高于其他组（P<0.05），蛋壳厚度著高于 0.5 mg/kg FA 添

加组（P<0.05）。饲粮 FA 添加水平对鸭蛋的蛋黄相对重、蛋白相对重、蛋形指数、蛋壳强度、蛋黄颜色和哈氏单位均没有显著影响（P>0.05）。

表 3　饲粮 FA 添加水平对鸭蛋组成和蛋品质的影响

Table 3　Effects of dietary FA supplemental level on egg composition and egg quality of laying ducks

项目 Items	叶酸添加水平 FA supplemental level/(mg/kg)						SEM	P 值 P-value
	0	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0		
蛋黄相对重 Yolk relative weight/%	28.8	29.1	28.5	28.3	29.2	28.7	0.34	0.56
蛋白相对重 Albumen relative weight/%	60.9	61.0	60.9	61.5	60.8	61.2	0.20	0.67
蛋壳相对重 Shell relative weight/%	10.0^{b}	10.0^{b}	10.5^{a}	10.2^{b}	9.95^{b}	10.1^{b}	0.07	<0.01
蛋形指数 Egg shape index	74.0	73.4	73.7	74.0	73.8	72.9	0.30	0.11
蛋壳强度 Eggshell strength/kgf	4.50	4.26	4.84	4.44	4.54	4.37	0.20	0.44
蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm	0.33^{ab}	0.32^{b}	0.34^{a}	0.33^{ab}	0.33^{ab}	0.33^{ab}	0.003	0.04
蛋黄颜色 Yolk color	5.23	5.23	5.38	5.05	5.04	5.16	0.10	0.18
哈氏单位 Haugh unit	80.0	81.6	79.8	80.0	78.5	80.4	0.85	0.28

2.3　饲粮 FA 添加水平对蛋鸭生殖器官的影响

由表 4 可知，随着饲粮 FA 添加水平的提高，优势卵泡重、优势卵泡重/卵巢重相呈先升高后降低规律，饲粮 FA 添加水平对优势卵泡重和优势卵泡重/卵巢重有显著影响（P<0.05），以 4.0mg/kg FA 添加组最高。

表 4　饲粮 FA 添加水平对蛋鸭生殖器官指标的影响

Table 4　Effects of dietary FA supplemental level on reproductive organ indices of laying ducks

项目 Items	叶酸添加水平 FA supplemental level/(mg/kg)						SEM	P 值 P-value
	0	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0		
优势卵泡数 Large yellow follicle number	1.80	2.40	3.20	3.00	4.40	2.20	0.60	0.07

小黄卵泡数 Small yellow follicle number	16.2	12.4	10.2	13.0	11.6	13.6	2.39	0.62
输卵管重 Oviduct weight/(g/kg BW)	32.7	33.1	31.7	33.3	28.6	34.6	2.66	0.70
卵巢重 Ovarian weight/(g/kg BW)	30.3	26.9	37.1	37.2	36.4	36.2	5.55	0.69
优势卵泡重 Large yellow follicle weight/g	6.02^{b}	11.0^{ab}	10.4^{ab}	21.0^{ab}	32.6^{a}	11.1^{ab}	5.58	0.03
小黄卵泡重 Small yellow follicle weight/g	2.14	1.70	1.34	1.62	1.46	1.71	0.33	0.62
优势卵泡重/卵巢重 Large yellow follicle weight/ovarian weight	0.20^{b}	0.35^{ab}	0.27^{b}	0.54^{ab}	0.94^{a}	0.35^{ab}	0.16	0.04
小黄卵泡重/卵巢重 Small yellow follicle weight/ovarian weight	0.08	0.06	0.03	0.05	0.04	0.04	0.01	0.19

2.4 饲粮 FA 添加水平对蛋鸭血浆 LH 和 PG 浓度的影响

由表 5 可知，随着饲粮 FA 添加水平的提高，血浆 PG 浓度先升高后下降，其中 2.0 mg/kg FA 添加组 PG 浓度最高。8.0 mg/kg FA 添加组 LH 浓度显著高于其他各组（P<0.05）。

表 5 饲粮 FA 添加水平对蛋鸭血浆 LH 和 PG 浓度的影响

Table 5 Effects of dietary FA supplemental level on plasma LH and progesterone concentration of laying ducks

项目 Items	叶酸添加水平 FA supplemental level/(mg/kg)						SEM	*P* 值 *P*-value
	0	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0		
孕酮 PG/(pg/mL)	100^{b}	112^{ab}	116^{ab}	132^{a}	114^{ab}	120^{ab}	6.76	0.05
促黄体生成素 LH/(mIU/mL)	1.21^{b}	1.25^{b}	1.13^{b}	1.39^{b}	1.30^{b}	2.14^{a}	0.14	<0.01

3 讨 论

3.1 饲粮 FA 添加水平对蛋鸭产蛋性能的影响

自然界中，FA 以还原态的二氢叶酸和四氢叶酸的形式广泛存在于深绿色牧草、蔬菜、

草籽、苜蓿草粉等青绿饲料中。作为一种重要的水溶性维生素，越来越多的研究证实 FA 对蛋禽的产蛋性能具有一定的调控作用，但其作用效果因动物、饲粮、处理时间等因素的不同而有所差异。Jing 等[11]研究发现，在小麦-豆粕型饲粮中添加 4 mg/kg FA 饲喂蛋鸡 8 周显著提高了其蛋重和日产蛋重。Hebert 等[12]研究表明，在大麦-豆粕型饲粮中添加不同水平（0、2、4、8、16、32、64、128 mg/kg）的 FA 饲喂蛋鸡 21 d 对其产蛋率、采食量、蛋重以及料蛋比均没有显著影响。Tactacan 等[13]在小麦-豆粕型饲粮中分别添加 10 和 100 mg/kg FA 饲喂蛋鸡 21 d，结果发现添加 10 和 100 mg/kg FA 对蛋鸡的平均日采食量、产蛋率、蛋重、产蛋量均没有显著的影响，但可显著提高血清和蛋中的 FA 含量。这与本试验研究发现类似，在玉米-豆粕型饲粮中分别添加 0、0.5、1.0、2.0、4.0、8.0 mg/kg FA 对蛋鸭产蛋率、平均蛋重、日产蛋重和料蛋比均无显著影响。

3.2　饲粮 FA 添加水平对鸭蛋组成和蛋品质的影响

一般情况下，蛋质量的衡量包括蛋组成和蛋品质指标。蛋组成指标主要包括蛋白、蛋黄和蛋壳的重量及其相对重量，蛋品质指标主要有蛋形指数、蛋壳厚度、蛋壳强度、哈氏单位、蛋黄色泽。其中哈氏单位主要受浓蛋白含量及黏度的影响，是衡量蛋新鲜度的重要指标之一。蛋存放的时间越长，气孔越大，蛋内的水分增发越多，其比重越小。因此蛋的新鲜度也可以利用比重范围为 1.058~1.112 的盐溶液（以 0.004 的梯度递增），通过盐水漂浮法检测蛋比重来进行评定[14]，其中蛋比重 1.080 以上为新鲜蛋，1.060 以上为次鲜蛋，1.050 以上为陈次蛋，1.050 以下为变质蛋[15]。根据前期试验发现，产蛋后 48 h 内蛋的比重为 1.083~1.092，因此本试验蛋组成及蛋品质指标检测均在产蛋后 48 h 内完成。本试验研究发现，饲粮中添加不同水平的 FA 对鸭蛋的哈氏单位无显著影响。Stern 等[16]研究发现，缺乏 FA 会使得血浆同型半胱氨酸的浓度上升，而同型半胱氨酸通过影响激素如皮质醇、生长激素以及胰岛素样生长因子的水平或磷脂酰肌醇 3 激酶/蛋白激酶 B/雷帕霉素靶蛋白信号转导途径对蛋白质降解起着重要作用。反之，补充 FA 可降低血浆同型半胱氨酸的浓度[12]，有利于促进蛋白的合成。

本研究发现，在饲粮中添加不同水平的 FA 对鸭蛋蛋白相对重没有显著影响，但 1.0 mg/kg FA 添加水平显著提高了其蛋壳相对重，且获得较高的蛋壳厚度。在蛋壳形成的过程中碳酸钙晶体和蛋壳基质蛋白相互作用，嵌合形成具有一定厚度和强度的蛋壳。这提示，在饲粮中添加 1.0 mg/kg FA 可能有利于蛋壳基质蛋白的合成，其调控机制还需进行深入的探讨。此外，本试验研究发现，在玉米-豆粕型饲粮中添加不同水平的 FA 对鸭蛋蛋黄色泽未见显著差异。石天虹等[17]在蛋鸭玉米-豆粕型饲粮中添加 5 mg/kg FA 也未发现其对鸭蛋蛋黄色泽有显著的改善作用。蛋禽本身不能合成色素，蛋黄的色泽主要受从饲粮中摄取的脂溶性色素种类和数量的影响[18]。这表明，在玉米-豆粕型饲粮中添加 FA 并不影响脂溶性色素在蛋黄的沉积。

3.3 饲粮 FA 添加水平对蛋鸭生殖器官及内分泌的影响

研究表明，生殖轴的内分泌激素可以影响卵巢和输卵管的发育[19-20]，并且饲粮营养水平和饲养时间均可通过影响生殖激素的分泌来调控生殖器官的发育[21-22]。早期研究表明缺乏 FA 会降低性激素的分泌来抑制输卵管氨基酸的组成及其发育[23]。本试验研究发现，饲粮中添加 4.0 mg/kg FA 可获得较高的优势卵泡重和优势卵泡重/卵巢重，但与 2.0、4.0 和 8.0 mg/kg FA 添加组相比差异不显著。Yang 等[24]研究表明，血浆的生殖激素水平是一个连续的动态变化过程，LH 和 PG 是促进蛋鸭排卵较为关键的 2 种激素。血浆 PG 由排卵前最大的优势卵泡分泌，其浓度峰值出现在排卵前 4~6 h，而血浆 LH 浓度在 PG 浓度峰值出现后达到最高[25]。因此，我们通过检测蛋鸭血浆 LH 和 PG 的浓度，发现 2.0 mg/kg FA 添加组与未添加 FA 组相比显著提高了蛋鸭血浆 PG 浓度，与其他 FA 添加水平组相比差异不显著；8.0 mg/kg FA 添加组的血浆 LH 浓度显著高于其他各组。卵泡的发育和成熟是一个复杂的多因素调控过程，除内分泌因子以外，生长因子和细胞因子等均起着关键性作用。因此，饲粮 FA 添加水平显著提高了优势卵泡重和优势卵泡重/卵巢重可能是通过除内分泌激素 PG 和 LH 以外的其他生长因子或细胞因子介导的途径所致，FA 对卵泡成熟的作用机制还有待深入研究。

4 结 论

在玉米-豆粕型饲粮中添加 FA 在一定程度上有利于促进优势卵泡的发育，但未能显著影响山麻鸭的产蛋性能。以蛋壳相对重和蛋壳厚度为评价指标，建议玉米-豆粕型饲粮 FA 适宜添加水平为 1.0 mg/kg。

参考文献：

[1] 葛文霞.烟酸和不同水平叶酸对肉仔鸡生产性能和血清理化指标影响的研究[D].硕士学位论文.石河子:石河子大学,2006:16-17.

[2] ABAS I,KAHRAMAN R,ESECELI H,et al.The effect of high levels of folic acid on performance and egg quality of laying hens fed on diets with and without ascorbic acid from 28-36 weeks of age[J].Journal of Animal and Veterinary Advances,2008,7(4):389-395.

[3] BUNCHASAK C,KACHANA S.Dietary folate and vitamin B_{12} supplementation and consequent vitamin deposition in chicken eggs[J].Tropical Animal Health and Production,2009,41(7):1583-1589.

[4] 孟苓凤,王宝维,葛文华,等.饲粮叶酸对鹅生长性能、血清生化指标和酶活性及肝脏亚甲基四氢叶酸还原酶基因表达量的影响[J].动物营养学报,2013,25(5):985-995.

[5] 阮栋,林映才,张罕星,等.蛋氨酸水平对开铲起麻鸭产蛋性能、蛋品质及卵巢形态的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(7):34-37.

[6] 王爽,陈伟,阮栋.饲粮核黄素水平对笼养蛋鸭产蛋性能、蛋品质、血液生化及抗氧化指标的影响[J].动物营养学报,2014,26(11):3284-3290.

[7] 夏伟光,张罕星,林映才,等.饲粮代谢能和粗蛋白质水平对蛋鸭产蛋性能的影响[J].动物营养学报,2014,26(12):3599-3607.

[8] 张罕星,李燕,林映才,等.饲粮非植酸磷水平对高峰期蛋鸭产蛋性能、蛋品质和胫骨指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(5):1377-1384.

[9] CHEN W,ZHANG H X,WANG S,et al.Estimation of dietary selenium requirement for Chinese

egg-laying ducks[J].Animal Production Science,2015,55(8):1056-1063.

[10] XIA W G,ZHANG H X,LIN Y C,et al.Evaluation of dietary calcium requirements for laying *Longyan* shelducks[J].Poultry Science,2015,94(12):2932-2937.

[11] JING M,MUNYAKA P M,TACTACAN G B,et al.Performance, serum biochemical responses, and gene expression of intestinal folate transporters of young and older laying hens in response to dietary folic acid supplementation and challenge with Escherichia coli lipopolysaccharide[J].Poultry Science,2014,93(1):122-131.

[12] HEBERT K,HOUSE J D,GUENTER W.Effect of dietary folic acid supplementation on egg folate content and the performance and folate status of two strains of laying hens[J].Poultry Science,2005,84(10):1533-1538.

[13] TACTACAN G B,RODRIGUEZ-LECOMPTE J C,O K,et al.The adaptive transport of folic acid in the intestine of laying hens with increased supplementation of dietary folic acid[J].Poultry Science,2012,91(1):121-128.

[14] KESHAVARZ K.Effects of reducing dietary protein, methionine, choline, folic acid, and vitamin B_{12} during the late stages of the egg production cycle on performance and eggshell quality[J].Poultry Science,2003,82(9):1407-1414.

[15] 李剑锋.基于近红外光谱漫反射技术检测鸡蛋新鲜度的研究[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2009:7.

[16] STERN F,BERNER Y N,POLYAK Z,et al.Homocysteine effect on protein degradation rates[J].Clinical Biochemistry,2004,37(11):1002-1009.

[17] 石天虹,黄保华,魏祥法,等.不同饲料添加剂对鸭蛋成分、蛋品质和蛋黄着色效果影响的研究[J].饲料工业,2010,31(21):7-11.

[18] 唐会会.万寿菊叶黄素和 VC 对高温环境中蛋鸡生产性能和生理机能的影响[D].硕士学

位论文.湛江:广东海洋大学,2012:41.

[19] LI W L,LIU Y,YU Y C,et al.Prolactin plays a stimulatory role in ovarian follicular development and egg laying in chicken hens[J].Domestic Animal Endocrinology,2011,41(2):57-66.

[20] SHIT N,SASTRY K V,SINGH R P,PANDEY N K,et al.Sexual maturation, serum steroid concentrations, and mRNA expression of IGF-1, luteinizing and progesterone hormone receptors and survivin gene in Japanese quail hens[J].Theriogenology,2014,81(5):662-668.

[21] ONAGBESAN O,METAYER S,TONA K,et al.Effects of genotype and feed allowance on plasma luteinizing hormones, follicle-stimulating hormones, progesterone, estradiol levels, follicle differentiation, and egg production rates of broiler breeder hens[J].Poultry science,2006, 85(7):1245-1258.

[22] LEBEDEVA I Y,LEBEDEV V A,GROSSMANN R,et al.Age-dependent role of steroids in the regulation of growth of the hen follicular wall[J].Reproductive Biology and Endocrinology,2010,8(15):1-13.

[23] JACKSON N.A study of the effect of folic acid deficiency on the amino acid composition of the gonadal hormone-stimulated oviduct of the immature female fowl[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology,1972,41(2):421-426.

[24] YANG P,MEDAN M S,ARAI K Y,et al.Plasma concentrations of immunoreactive (ir)-inhibin, gonadotropins and steroid hormones during the ovulatory cycle of the duck[J]. Journal of Reproduction and Development,2005,51(3):353-358.

[25] ETCHES R, CHENG K.Changes in the plasma concentrations of luteinizing hormone, progesterone, oestradiol and testosterone and in the binding of follicle-stimulating hormone to the theca of follicles during the ovulation cycle of the hen (Gallus domesticus)[J].Journal

of Endocrinology,1981,91(1):11-22.

Effects of Dietary Folic Acid Supplemental Level on Laying Performance, Egg Quality, Reproductive Organ and Plasma Reproductive Hormone Indices of *Shanma* Laying Ducks

XIA Weiguang[1] WANG Shenglin[1] CHEN Wei[1] RUAN Dong[1] WANG Shuang[1] A. M. Fouad[1, 2] LIN Yingcai[1*] ZHENG Chuntian[1*]

(1. *Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, State Key Laboratory of Livestock and Poultry Breeding, Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science in South China, Ministry of Agriculture, Guangdong Public Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangzhou* 510640, *China;* 2. *Department of Animal Production, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza* 12613, *Egypt*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of dietary folic acid (FA) supplemental level on laying performance, egg quality, reproductive organ and plasma reproductive hormone indices of *shanma* laying ducks, and to estimate dietary FA requirement for *Shanma* laying ducks in laying period from 18 to 32 weeks of age. A total of 360 *Shanma* laying ducks at 16 weeks of age were randomly allotted to 5 groups, each with 5 replicates of 12 birds. All birds were offered a basal diet without FA supplementation for 2 weeks. Then birds were fed the experimental diets supplemented with 0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 and 8.0 mg/kg FA, respectively. The experiment lasted for 15 weeks. The results showed as follows: 1) in the early laying period, peak laying period and the whole experimental period, dietary FA supplemental level had no significant effect on laying performance indices of laying ducks (P>0.05). 2) Eggshell relative weight and thickness were firstly increased and then decreased with dietary FA supplemental level increasing, and the eggshell relative weight of 1.0 mg/kg FA group was significantly higher than that of other groups (P<0.05). 3) Large yellow follicle (LYF) weight and LYF weight/ovarian weight were firstly increased and then decreased with dietary FA supplemental level increasing, and the maximal value was at the level of 4.0 mg/kg (P<0.05). 4) Plasma concentration of progesterone was firstly increased and then decreased with dietary FA supplemental level increasing, and the maximal value was at the level of 2.0 mg/kg (P<0.05). Luteinizing hormone concentration of 8.0 mg/kg FA group was significantly higher than that of other groups (P<0.05). In conclusion, FA supplementation in corn-soybean meal basal diet is beneficial to improve the development of LYF, but did not affect laying performance of *Shanma* laying ducks. Only considering laying performance of *Shanma* laying ducks, it is not necessary to supplement with FA in corn-soybean meal basal diet, but based on eggshell relative weight and thickness, the optimal FA supplementation for *Shanma* laying ducks in laying period from 18 to 32 weeks of age is 1.0

*Corresponding authors: LIN Yingcai, professor, E-mail: lyc0123@viptom.com; ZHENG Chuntian, professor, zhengcht@163.com (责任编辑 武海龙)

mg/kg.

Key words: folic acid; *Shanma* ducks; laying performance; egg quality; reproductive organ